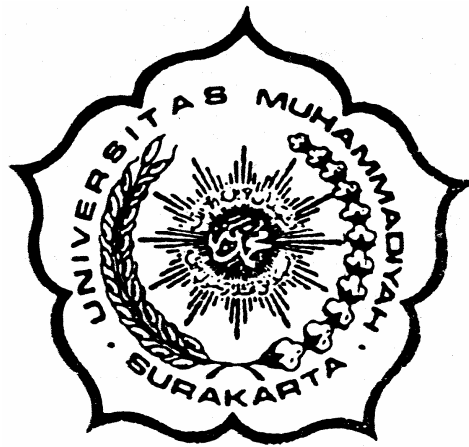


TUGAS AKHIR

**PENELITIAN PENGARUH KETEBALAN DAN JUMLAH LAS
TITIK TERHADAP KEKUATAN GESER LAS TITIK
(*SPOT WELDING*) PADA BAJA ST 70**



Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Menyelesaikan Program Studi Strata
Satu Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta

Disusun oleh :

SETIAWAN

D 200 020 054

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

2007

HALAMAN PERSETUJUAN

Tugas Akhir ini telah disetujui oleh pembimbing Tugas Akhir untuk dipertahankan didepan Dewan penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta dengan :

Nama : Setiawan

NIM : D 200 020 054

Judul : Penelitian Pengaruh Ketebalan dan Jumlah Las Titik Terhadap Kekuatan geser Las Titik (*Spot Welding*) pada Baja ST 70.

Hari :

Tanggal :

Mengetahui,

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Bibit Sugito, MT.

Ir. Pramuko I.P, MT.

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir dengan judul **“Penelitian Pengaruh Ketebalan dan Jumlah Las Titik Terhadap Kekuatan geser Las Titik (*Spot Welding*) pada Baja ST 70“** ini telah disahkan oleh Dewan Penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta, pada :

Hari :

Tanggal :

Mengesahkan,

Dewan Penguji :

1. Ir. Bibit Sugito, MT. ()
2. Ir. Pramuko I.P, MT. ()
3. Ir. Agus Hariyanto, MT. ()

Mengetahui,

a.n.Dekan Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah
Surakarta

Ketua Jurusan Teknik Mesin

(Ir. Subroto, MT.)

(Marwan Effendy, ST, MT.)

MOTTO

*Allah Tidak Akan Membebani Seseorang Melainkan Sesuai Dengan Kemampuannya.
Ia Mendapat Pahala (Dari Kebajikannya) Yang Diusahakannya dan
Siksa (Dari Kejahatan) Yang Dikerjakannya.
(Q.S. Al – Baqarah : 286)*

*Sesungguhnya Allah Tidak Akan Merubah Keadaan Suatu Kaum, Kecuali Mereka
Merubah Keadaan Yang Ada Pada Diri Mereka Sendiri
(Q.S. Ar – Ra' du : 11)*

*Allah Akan Meninggikan Orang-orang yang Beriman di Antaramu dan
Orang-orang Yang diberi Ilmu Pengetahuan Beberapa Derajat.
Dan Allah Maha Mengetahui Apa Yang Kamu Kerjakan
(Q.S. Al – Mujaadilah : 11)*

PERSEMBAHAN

Karya Ini Merupakan Hasil Perjuangan Panjang Yang Melelahkan.....

Teriringi Oleh Kesabaran, Ketekunan Serta Do'a, Dengan Perasaan Haru Dan Bangga

Kupersembahkan Kepada :

Bapak dan Ibu, atas do'a dan kasih sayangnya yang tak berujung

Kakak-kakak dan Seseorang yang akan menjadi pendampingku kelak

Sahabat serta almamater UMS

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Warrohmatullahi Wabarokaatuh

Alhamdulillahilahi robbil'alamiin, segala puji dan syukur kami panjatkan kehadirat Alloh SWT, atas segala Rahmat dan Hidayah-Nya serta memberikan kekuatan dan kedamaian berfikir, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Kesarjanaan Strata Satu pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta. Dengan Tugas Akhir ini segala pengetahuan diperoleh selama pendidikan diharapkan dapat memberi dasar yang lebih kuat dalam mengungkapkan gagasan dan membahas serta memecahkan persoalan-persoalan yang timbul.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis mengalami banyak kesulitan dan hambatan, namun berkat bantuan, arahan, dorongan serta bimbingan dari berbagai pihak, dengan demikian kesulitan dan hambatan itu dapat teratasi. Untuk itu dalam kesempatan ini dengan segala keikhlasan dan kerendahan hati penulis menyampaikan rasa terima kasih yang tidak terhingga kepada :

1. Bapak Ir. H. Sri Widodo, MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
2. Bapak Marwan Effendy, ST, MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

3. Bapak Ir. Bibit Sugito, MT., selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan ilmu, nasehat dan bimbingan.
4. Bapak Ir. Pramuko I.P, MT, selaku pembimbing II dan Dosen Pembimbing akademik yang telah meluangkan waktu dan memberikan bimbingan, arahan serta petunjuk yang sangat bermanfaat bagi penulis.
5. Seluruh Dosen Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah membekali ilmu yang berguna bagi penulis untuk menyongsong masa depan.
6. Seluruh Staff dan Karyawan Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah membantu dalam penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Mas Agus Tata Usaha teknik mesin UMS, Pak Yanto Laboratorium Proses Produksi UMS, terima kasih atas semua bantuannya.
8. Ibu dan Bapak yang telah memberikan fasilitas berupa materiil dan spiritual serta dorongan didalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
9. Kakak-kakak dan seluruh keluarga besar setiawan yang selalu memberikan dorongan didalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
10. Sahabat seperjuangan seloro lopo, Faisal (Copet).
11. “ SMASH “ yang selalu mengantarkan kemanapun aku pergi.
12. Teman-teman Kost “Putra Batik” dan teman-temanku (Otonk, Mr_popo, Andrex, Tesi, Sican, Komenk, dll) yang selalu memberi motifasi dan dorongan sehingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
13. Rekan-rekan Teknik Mesin dan semua pihak yang telah membantu keberhasilan Tugas Akhir ini.

Sebagai satu tahapan dalam proses belajar, penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini tidak luput dari segala kekurangan maupun kesalahan. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun. Akhirnya harapan penulis semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri, para pembaca, dan dunia ilmu pengetahuan. Amiin...

Wassalamu'alaikum Warrohmatullahi Wabarokaatuh

Surakarta, Septembar 2007

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
MOTTO	iv
PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
LEMBAR SOAL TUGAS AKHIR	ix
INTISARI	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xv
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Metode Penelitian	4
1.7. Sistematika Penulisan	5
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	
2.1. Tinjauan Pustaka	7

2.2. Landasan Teori	8
2.2.1. Macam-macam Baja	8
2.2.1.1. Baja Karbon	8
2.2.1.2. Baja Paduan	10
2.2.1.3. Baja Khusus	14
2.2.2. Diagram Fase Fe-C	18
2.2.3. Klasifikasi Cara-cara Pengelasan	20
2.2.4. Las Titik (<i>Spot Welding</i>)	21
2.2.5. Las Oksi-asetilen	24

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian	29
3.2. Bahan dan Alat Penelitian.....	30
3.2.1. Proses Pemotongan	31
3.2.2. Proses Pengelasan	31
3.2.3. Pembuatan benda Uji	33
3.3. Pennghalusan dan Pemolesan	34
3.4. Pengujian Unsur Komposisi Kimia	35
3.5. Pengujian Kekerasan	36
3.6. Pengujian Tarik	38

BAB IV DATA-DATA HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Data-data Penelitian	40
4.1.1. Data Hasil Pengujian Komposisi Kimia	40
4.1.2. Data Hasil Pengujian Kekerasan	41

4.1.3. Data Hasil Pengujian Tarik	45
4.2. Pembahasan	46
4.2.1. Pembahasan uji Komposisi kimia	46
4.2.2. Pembahasan Uji Kekerasan	47
4.2.3. Pembahasan Uji Tarik	49

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan	50
5.2. Saran	51

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Diagram Fase Fe-C	18
Gambar 2.2. Proses Pengelasan	22
Gambar 2.3. Distribusi Suhu Pada Las Titik	23
Gambar 2.4. Nyala Oksi-asetilen	24
Gambar 2.5. Penghasil Asetilen jenis Karbit ke Air	27
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	29
Gambar 3.2. Sambungan Tumpang	31
Gambar 3.3. Alat Untuk Las Titik	32
Gambar 3.4. Alat Uji Fsq Foundry Spectrovac	35
Gambar 3.5. Alat Uji Kekersan Mikro	37
Gambar 3.6. Alat Uji Tarik	39
Gambar 3.7. Standar Pembuatan Spesimen Uji Kekuatan Tarik	39
Gambar 4.1. Histrogram Perbandingan Harga Kekerasan Rata-rata HAZ pada Las Titik dan Las Oksi-asetilen	44
Gambar 4.2. Histrogram Perbandingan Harga Kekerasan Rata-rata Logam Induk pada Las Titik dan Las Oksi-asetilen	44
Gambar 4.3. Histrogram Perbandingan Harga Kekuatan Tarik pada Las Titik dan Las Oksi-asetilen	46

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Klasifikasi Baja Karbon	10
Tabel 2.2. Klasifikasi Baja Tahan Karat	15
Tabel 2.3. Klasifikasi Cara Pengelasan	21
Tabel 2.4. Pengelasan Logam Dengan Las Oksi-asetilen	28
Tabel 4.1. Komposisi Unsur Kimia Baja St 70	40
Tabel 4.2. Hasil Pengujian Kekerasan Spesimen Las Titik Baja St 70	41
Tabel 4.3. Hasil Pengujian Kekerasan Spesimen Las Oksi-asetilen Baja St 70	43
Tabel 4.4. Hasil Pengujian Tarik Spesimen Las Titik Baja St 70	45
Tabel 4.5. Hasil Pengujian Tarik Spesimen Las Oksi-asetilen Baja St 70	45

ABSTRAKSI

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kandungan unsur-unsur pada baja St 70 sebelum proses pengelasan dilakukan, untuk mengetahui harga kekerasan daerah logam induk dan daerah HAZ pada baja St 70 setelah dilakukan pengelasan dan untuk mengetahui kekuatan geser las titik pada baja St 70 terhadap pengaruh ketebalan dan jumlah las.

Material yang digunakan untuk dilas titik adalah baja St 70. proses pengelasan yang dilakukan menggunakan las titik (*Spot welding*) dan las Oksi-asetilen. Jenis sambungan adalah sambungan tumpang. Menggunakan variasi ketebalan dan variasi jumlah titik las pada las titik (*Spot welding*). Pengujian yang dilakukan adalah pengujian komposisi kimia, pengujian kekerasan dan pengujian tarik. Uji komposisi kimia dilakukan di PT. ITOKOH CEPERINDO. Pengelasan las titik (*Spot welding*), pengujian kekerasan dan pengujian tarik dilakukan di laboratorium teknik mesin UMS. Pengujian kekerasan *vickers* dengan standar ASTM E 92 dan pengujian tarik dengan standar ASTM E 8M.

Pada pengujian komposisi kimia dapat diketahui bahwa material benda uji baja St 70 termasuk ke dalam baja tahan karat jenis austenid dengan komposisi utama 17,974% chrom (cr) dan 7,480% nikel (Ni). Pada pengujian kekerasan didapatkan hasil tertinggi daerah logam induk sebesar 267,9 HV pada ketebalan 0,9 mm pada las titik. Dan untuk uji tarik didapatkan hasil tertinggi 827,47 N/mm² pada las titik pada tebal plat 0,9 mm dengan 3 titik las.

Kata kunci : Baja St 70, Las titik, Komposisi kimia, Uji Kekerasan, Uji Tarik

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Dengan kemajuan yang telah dicapai sampai dengan saat ini teknologi las memegang peranan penting dalam masyarakat industri modern. Terbukti dengan terwujudnya standar-standar teknik dalam pengelasan las yang akan membantu memperluas lingkup pemakaian sambungan las dan memperbesar ukuran bangunan konstruksi yang dapat dilas. Pada tahap-tahap permulaan dari pengembangan teknologi las, pengelasan hanya dipergunakan pada sambungan-sambungan dan reparasi-reparasi yang kurang penting. Tetapi sekarang penggunaan proses-proses pengelasan dan penggunaan konstruksi-konstruksi las merupakan hal yang umum disemua negara di dunia.

Pada waktu ini telah digunakan lebih dari 40 jenis pengelasan termasuk pengelasan yang dilaksanakan dengan hanya menekan dua logam yang disambung sehingga terjadi ikatan antara atom-atom atau molekul-molekul dari logam yang disambungkan.

Las titik (*Spot Welding*) merupakan cara pengelasan resistansi listrik di mana dua atau lebih lembaran logam dijepit diantara dua elektroda logam di bawah pengaruh tekanan sebelum arus dialirkan. Las titik pada dasarnya merupakan proses penyambungan lembaran logam tipis. Hampir

semua jenis logam dapat di las dengan las titik (*Spot Welding*), meskipun beberapa logam seperti timah putih, seng dan timbel agak sulit di las.

Las titik (*Spot Welding*) pada umumnya digunakan untuk penyambungan logam tipis. Penggunaan las titik (*Spot Welding*) dalam konstruksi adalah pada pembuatan kendaraan rel, di mana las titik (*Spot Welding*) digunakan untuk pengelasan plat dinding rangka. Las titik (*Spot Welding*) juga digunakan dalam penyambungan plat-plat pada bodi mobil. Dalam pengelasan kekuatan dari sambungan las sangat penting. Oleh karena itu, mendorong penulis untuk mengetahui kekuatan tarik dari las titik (*Spot Welding*) dan sebagai pembanding penulis juga menggunakan las Oksi-asetilen untuk diketahui kekuatan tariknya.

1.2. Rumusan Masalah

Las titik (*Spot Welding*) pada dasarnya merupakan proses penyambungan lembaran logam tipis. Pada proses ini sambungan mengalami tekanan selama proses pemanasan yang diatur dengan cermat dan prosesnya sendiri berlangsung dengan cepat. Hampir semua jenis logam dapat di las dengan las titik (*Spot Welding*).

1.3. Batasan Masalah

Mengingat begitu luas serta kompleknya permasalahan dibidang pengelasan, maka perlu untuk membatasi masalah agar dalam pembahasannya nanti bisa lebih terfokus. Batasan-batasan tersebut adalah :

1. Bahan atau *material* yang dipakai adalah baja karbon rendah (St 70)
2. Ketebalan plat adalah 0,9 mm, 1,5 mm dan 2 mm
3. Pengelasan dilakukan dengan las titik (*Spot Welding*) dan las Oksi-asetilen (sebagai pembanding)
4. Menggunakan formasi las titik lurus 1 titik, lurus 2 titik dan lurus 3 titik
5. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian komposisi kimia, pengujian kekerasan dan pengujian tarik.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui kandungan unsur-unsur pada baja ST 70 sebelum proses pengelasan dilakukan.
2. Untuk mengetahui harga kekerasan daerah logam induk dan daerah HAZ pada baja ST 70 setelah dilakukan pengelasan.
3. Untuk mengetahui kekuatan geser las titik pada baja ST 70 terhadap pengaruh ketebalan dan jumlah las.

1.5. Manfaat Penelitian

Dari penelitian yang dilakukan, ada beberapa manfaat yang bisa diambil, antara lain :

1. Manfaat bagi ilmu pengetahuan, khususnya pada bidang ilmu *material* adalah tambahan data pada bidang pengelasan dalam hal analisa kekuatan geser las titik (*Spot Welding*) dan las Oksi-asetilen

2. Manfaat bagi negara dan bangsa adalah memberikan pengetahuan yang luas tentang pengelasan dalam industri-industri yang menggunakan teknologi pengelasan di Indonesia.

1.6. Metode Penelitian

Metode penelitian menggunakan metode penelitian dengan menganalisa dari hasil-hasilnya dan studi literatur. Langkah-langkah dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah :

1. Studi literatur

Yaitu mempelajari referensi dari berbagai buku sebagai teori penunjang dalam pembahasan masalah, menyusun data, metode eksperimen dan analisa hasil penelitian.

2. Studi laboratorium

Studi laboratorium dilakukan dengan pengujian laboratorium. Dan laboratorium yang dipakai adalah :

1. Laboratorium Teknik Mesin UMS
2. Laboratorium PT. ITOKOH CEPERINDO
3. Laboratorium bahan UGM.

Sedangkan pengujian yang dilakukan adalah :

- Pengujian komposisi kimia
- Pengujian kekerasan
- Pengujian kekuatan tarik.

1.7. Sistematika Penelitian

Untuk memudahkan pemahaman pembaca, penulis membagi tugas akhir ini menjadi lima bab, dan tiap-tiap bab terdiri dari sub-sub bab yang satu dengan yang lain saling berhubungan, sehingga membentuk satu kesatuan topik pembahasan.

Sebelum masuk ke bab satu, tugas akhir ini diawali dengan halaman judul, halaman persetujuan, halaman pengesahan, motto dan persembahan, kata pengantar, daftar isi, daftar tabel dan daftar gambar.

BAB I. PENDAHULUAN

Meliputi latar belakang masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penelitian.

BAB II. LANDASAN TEORI

Macam-macam baja, diagram fasa Fe-C, klasifikasi cara-cara pengelasan, las titik dan las Oksi-asetilen.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Meliputi diagram alur penelitian, *material* dan penyiapan bahan, pengujian komposisi kimia, pengujian kekerasan dan pengujian tarik.

BAB IV. DATA-DATA HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Meliputi data-data hasil pengujian dan pembahasan dari data-data yang diperoleh pengujian komposisi kimia, data pengujian kekerasan dan data pengujian tarik.

BAB V. PENUTUP

Meliputi kesimpulan dan saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Susanto, T.A (2006), meneliti tentang penggunaan jenis fluks pembungkus elektroda dan variasi arus listrik pengelasan terhadap kekuatan tarik pada plat baja St 37 dengan kampuh X. Hasil penelitian menunjukkan terdapat perbedaan kekuatan tarik pada pengelasan dengan menggunakan jenis fluks pembungkus elektroda pada plat baja St 37 dengan kampuh X yaitu kekuatan tarik pada jenis fluks pembungkus elektroda jenis organik lebih besar dari fluks pembungkus rutil. Arus terbalik yang digunakan untuk mengelas pada plat baja St 37 kampuh X yaitu arus 120 Ampere terhadap kekuatan tarik ada perbedaan kekuatan tarik pada pengelasan dengan menggunakan variasi jenis fluks pembungkus elektroda dan variasi arus listrik pengelasan.

Firmansyah, R (2006), meneliti tentang sambungan las dengan variasi sudut kampuh V pada alumunium. Hasil penelitian menunjukkan kekuatan tarik pada pengelasan alumunium terdapat pada sudut kampuh 60° adalah $6,82 \text{ kg/mm}^2$, pada sudut kampuh 30° sebesar $6,4 \text{ kg/mm}^2$ dan sudut kampuh 45° sebesar $6,55 \text{ kg/mm}^2$. kekerasan pada benda uji sebelum dilas sebesar $40,25 \text{ kg/mm}^2$ sedangkan sesudah dilas pada pengelasan sudut 30° sebesar $26,2 \text{ kg/mm}^2$, pada pengelasan sudut 45° sebesar $225,1 \text{ kg/mm}^2$, pada pengelasan sudut 60° sebesar $5,8 \text{ kg/mm}^2$.

Hidayat, S.N (2006), meneliti tentang pengaruh jenis elektroda las terhadap kekuatan sambungan pada baja stainless steel. Hasil penelitian menunjukkan kekuatan tarik untuk 2 spesimen dengan elektroda E 308 sebesar $68,08 \text{ kg/mm}^2$ dan $59,50 \text{ kg/mm}^2$ sedangkan spesimen dengan elektroda E 310 sebesar $54,29 \text{ kg/mm}^2$ dan $64,13 \text{ kg/mm}^2$. harga kekerasan untuk spesimen dengan elektroda E 308 pada daerah logam induk adalah 232,77 HVN, daerah HAZ adalah 485,27 HVN, daerah las adalah 169,77 HVN, sedangkan untuk spesimen dengan elektroda E 310 pada daerah logam induk adalah 227,03 HVN, daerah HAZ adalah 202,97 HVN, daerah las adalah 214,5 HVN.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Macam-macam Baja

2.2.1.1. Baja Karbon

Secara umum baja karbon adalah baja dengan unsur utamanya *ferro*(Fe) dan unsur karbon(C), dengan diikuti unsur-unsur tambahan lain yang tidak bisa dihindari, unsur-unsur tersebut antara lain Si, Mn, P, S, dan Cu. Sifat baja karbon sangat kuat tergantung pada kadar karbonnya. Jika dilihat dari kadar karbonnya, baja karbon diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu

- Baja *hypoeutectoid*

Kandungan karbon pada jenis ini (0,02 s/d 0,765) %.

Sifatnya adalah mempunyai kekuatan relatif rendah, lunak,

keuletan tinggi, mudah dibentuk, dan memiliki *machineability* cukup baik.

- Baja *eutectoid*

Baja jenis ini mempunyai kadar karbon 0,765 %, Sifat yang dimiliki lebih kuat, keras yang dikeraskan lagi. Untuk konstruksi yang memerlukan kekuatan dan ketangguhan yang lebih baik, baja ini dapat di-*hardening*.

- Baja *hypereutectoid*

Kandungan karbon pada jenis ini (0,765 s/d 2,14) %. Mempunyai sifat yang lebih baik dan lebih keras dibanding dengan *medium carbon steel*, tetapi keuletan dan ketangguhannya rendah.

Dari ketiga kategori diatas dapat disimpulkan bahwa baja karbon mempunyai kadar karbon 0,02 % s/d 2,14 %.

Klasifikasi baja karbon dapat dilihat dari tabel:

Tabel 2.1. klasifikasi baja karbon

Jenis dan Kelas	Kadar karbon (%)	Kekuatan luluh (kg/mm)	Kekuatan tarik (kg/mm)	Perpanjangan (%)	Kekerasan <i>Brimell</i>	Penggunaan
Baja karbon rendah Baja lunak khusus Baja sangat lunak Baja lunak Baja setengah lunak	0,08 0,08 - 0,12 0,12 - 0,20 0,20 - 0,30	 18 - 28 20 - 29 22 - 30 24 - 30	 32 - 36 36 - 42 38 - 48 44 - 45	 40 - 30 40 - 30 36 - 24 32 - 22	 95 - 100 80 - 120 100 - 130 112 - 145	Plat tipis Batang, kawat Konstruksi Umum
Baja karbon sedang Baja setengah keras	0,30 - 0,40	30 - 40	50 - 60	30 - 17	140 - 170	Alat-alat mesin
Baja karbon tinggi Baja keras Baja sangat keras	0,40 - 0,50 0,50 - 0,80	34 - 46 36 - 47	58 - 70 65 - 100	26 - 14 20 - 11	160 - 200 180 - 235	Perkakaa Rel, pegas, dan kawat piano

(Sumber: Toshie Okumura Teknologi Pengelasan Logam : 90)

Klasifikasi baja karbon yang lain adalah: (Sriatie Djaprie, 2000)

- Baja karbon rendah: $(C < 0,3) \%$
- Baja karbon sedang: $C (0,3 - 0,7) \%$
- Baja karbon tinggi : $C (0,7 - 1,7) \%$

2.2.1.2. Baja Paduan

Baja paduan adalah baja yang mengandung sebuah unsur lain atau lebih dengan kadar berlebih dari pada kadar biasanya dengan tujuan untuk memperoleh sifat yang lebih baik sesuai dengan

kebutuhan. Unsur paduan yang sering ditambahkan pada baja paduan misalnya : Si, Mn, Cr, Ni, Mo, V, Ti, Al, S dan P. Menurut unsur paduan baja dibagi menjadi 2 yaitu sebagai berikut :

1. Baja Paduan Rendah

Baja paduan rendah adalah sekelompok baja paduan yang mempunyai kadar karbon sama dengan baja lunak tetapi ditambah dengan sedikit unsur-unsur paduan. Dengan penambahan unsur paduan ini kekuatan baja dapat dinaikkan tanpa mengurangi keuletannya. Disamping itu sifat lainnya seperti, kekuatan fatik dan daya tahan terhadap korosi, terhadap aus dan terhadap panas juga menjadi lebih baik.

2. Baja Paduan Tinggi

Baja paduan tinggi mempunyai sifat mekanis dan tahan korosi yang lebih baik. Baja ini dibuat melalui pengerolan, baik dalam keadaan dilunakkan atau dinormalkan. Karena kadar karbon rendah maka baja ini relatif lunak dan liat, sehingga mudah dalam pembentukan dan pengelasan.

Unsur-unsur paduan yang berpengaruh pada baja antara lain :

- *Carbon (C)*

Dalam teknik metalurgi, unsur karbon mengandung peranan penting pada pembuatan baja karbon. Selain untuk menaikkan kekerasan, kekuatan, kepekaan teknik, kemampuan tempa, dan mampu las, juga menurunkan keliatan (regangan patah).

- *Chrom* (Cr)

Merupakan unsur terpenting untuk baja konstruksi dan perkakas yang menginginkan daya mekaniknya baik, meningkatkan kekerasan, kekakuan, ketahanan aus, kemampun diperkakas, ketahanan yang menyeluruh, dan tahan panas.

- *Mangan* (Mn)

Terkandung dalam semua bahan besi dalam jumlah kecil sebagai unsur paduan logam pada baja konstruksi dan perkakas dalam meningkatkan kekuatan, kekerasan, dan ketahanan aus.

- *Silicon* (Si)

Terkandung dalam jumlah kecil didalam semua bahan besi dan baja. Meningkatkan kekuatan, kekerasan, kemampuan diperkakas, tahan aus, tahan terhadap panas dan karat. Menurunkan tegangan, kemampuan tempa dan las.

- *Cobalt* (Co)

Sebagai unsur paduan dalam baja, *cobalt* meningkatkan kekerasan, tahan aus dan panas, tahan karat.

- *Nikel* (Ni)

Paduan antara baja karbon dengan *nikel* akan menghasilkan logam paduan yang sapat dilas, disolder. Unsur nikel meningkatkan keuletan, kekuatan, mampu las, tahan karat. Dan menurunkan regangan panas, kecepatan pendinginan.

- *Vanadium* (V)

Mempunyai pengaruh seperti *molibden* dalam baja, namun tanpa mengurangi regangan. Unsur *Vanadium*

meningkatkan kekuatan, keuletan, kekuatan panas, dan tahan lelah. Dan menurunkan kepekaan terhadap panas.

- *Titanium (Ti)*

Memiliki kekuatan sama seperti baja, mempertahankan sifatnya hingga 400 °C. Oleh karena itu merupakan paduan kawat las. Memiliki kekerasan yang tinggi dan merupakan unsur logam yang keras.

- *Molibden (Mo)*

Unsur *molibden* meningkatkan kekuatan tarik, keuletan, ketahanan panas, menurunkan regangan, dan kerapuhan.

- *Aluminium (Al)*

Terkandung dalam jumlah yang kecil pada baja, tujuannya sama dengan *silicon*, yaitu memberikan keuletan dan kemampuan diperkakas serta meningkatkan ketahanan terhadap karat.

- *Wolfram (W)*

Sebagai unsur paduan baja olah cepat dan logam keras karena mempunyai titik lentur tinggi. Biasanya produk yang dihasilkan berupa kawat pijar. Untuk itu juga dapat meningkatkan kekerasan, batas regangan, ketahanan panas, dan daya sengat.

- *Sulfur (S)*

Sulfur (belerang) memberikan sifat mekanis, terutama menurunkan keliatan.

- *Posphor* (P)

Posphor menimbulkan perubahan struktur kristal sehingga kekuatan tarik gas batas luner meningkat, tetapi sifat plastis keliatannya sangat berkurang. *phosphor* juga menjadikan baja sangat getas.

- *Tembaga* (Cu)

Tembaga adalah logam yang mempunyai daya hantar listrik dan daya hantar panas yang tinggi serta mempunyai daya tahan korosi yang baik terhadap air laut, beberapa zat kimia dan bahan makanan.

2.2.1.3. Baja Khusus

Baja khusus merupakan baja yang mempunyai unsur paduan yang tinggi karena pemakaian khusus. Baja khusus adalah baja tahan karat, baja tahan panas, baja perkakas dan baja listrik.

1. Baja Tahan Karat

Baja tahan karat termasuk dalam baja paduan tinggi yang tahan terhadap korosi, suhu tinggi dan suhu rendah. Di samping itu juga mempunyai ketangguhan dan sifat mampu potong yang cukup. Karena sifatnya, maka baja ini banyak digunakan dalam reaktor atom, turbin, mesin jet, pesawat terbang, alat rumah tangga dan lain-lainnya. Secara garis besar baja tahan karat dapat dikelompokkan dalam tiga jenis yaitu, jenis ferit, jenis austenit dan jenis martensit seperti yang ditunjukkan dalam tabel 2.2.

klasifikasi baja tahan karat dapat dilihat dari tabel:

Tabel 2.2. klasifikasi baja tahan karat

klasifikasi	Kompoosisi utama (%)			Sifat mampu keras	Sifat tahan korosi	Sifat mampu tempa	Sifat mampu las	kemagnitan
	Cr	Ni	C					
Baja tahan karat martensit	11-15	-	$\leq 1,20$	Mengeras sendiri	Kurang baik	Kurang baik	Tidak baik	Magnit
Baja tahan karat ferit	16-17	-	$\leq 0,35$	Tidak dapat dikeraskan	baik	baik	Kurang baik	Magnit
Baja tahan karat austenit	≤ 16	≤ 7	$\leq 0,25$	Tidak dapat dikeraskan	Baik sekali	Baik sekali	Baik sekali	Bukan magnit

(Sumber: Toshie Okumura Teknologi Pengelasan Logam : 109)

Baja tahan karat mempunyai sifat yang berbeda baik dengan baja karbon maupun dengan baja paduan rendah, dimana sangat mempengaruhi sifat mampu lasnya. Paduan utama dari baja tahan karat adalah Cr dan Ni dengan sedikit tambahan unsur lain seperti Mo, Cu dan Mn. Dari sifat fisiknya yang menunjukkan bahwa koefisien muainya kira-kira 1,5 kali baja lunak, maka dalam pengelasan baja tahan karat akan terjadi perubahan bentuk yang lebih besar.

Pengelasan baja tahan karat dengan las elektroda terbungkus, las MIG dan las TIG adalah cara yang banyak digunakan dalam pengelasan

baja tahan karat pada waktu ini. Di samping itu kadang-kadang digunakan juga las busur rendam, las sinar elektron dan las resistansi listrik.

Sifat mampu las baja tahan karat

- Baja tahan karat jenis martensit

Baja ini dalam siklus pemanasan dan pendinginan selama proses pengelasan akan membentuk martensit yang keras dan getas sehingga sifat mampu-lasnya kurang baik. Dalam mengelas baja tahan karat jenis ini harus diperhatikan dua hal yaitu pertama harus diberikan pemanasan mula sampai suhu antara 200°C dan 400°C dan suhu antara pengelasan lapisan harus ditahan jangan terlalu dingin dan setelah selesai pengelasan suhunya harus ditahan antara $700^{\circ}\text{C} - 800^{\circ}\text{C}$ untuk beberapa waktu.

- Baja tahan karat jenis ferit

Baja tahan karat jenis ini sangat sukar mengeras, tetapi butirnya mudah menjadi kasar yang menyebabkan ketangguhan dan keuletannya menurun. karena sifatnya ini maka pada pengelasan baja ini harus dilakukan pemanasan mula antara $70^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$ untuk menghindari retak pendinginan dari 600°C ke 400°C harus terjadi dengan cepat untuk menghindari penggetasan.

- Baja tahan karat jenis austenit

Baja tahan karat jenis ini mempunyai sifat mampu las yang lebih baik bila dibanding dengan kedua jenis yang lainnya. Tetapi walaupun

demikian pada pendinginan lambat dari 680°C ke 480°C akan terbentuk karbid khrom yang mengendap diantara butir. Endapan ini terjadi pada suhu sekitar 650°C dan menyebabkan penurunan sifat tahan karat dan sifat mekaniknya.

2. Baja Tahan Panas

Baja tahan panas adalah baja paduan yang kecuali tahan terhadap panas juga tahan terhadap asam dan terhadap mulur. Baja tahan panas yang terkenal adalah baja paduan jenis Cr-Mo yang dapat tahan pada suhu 600°C .

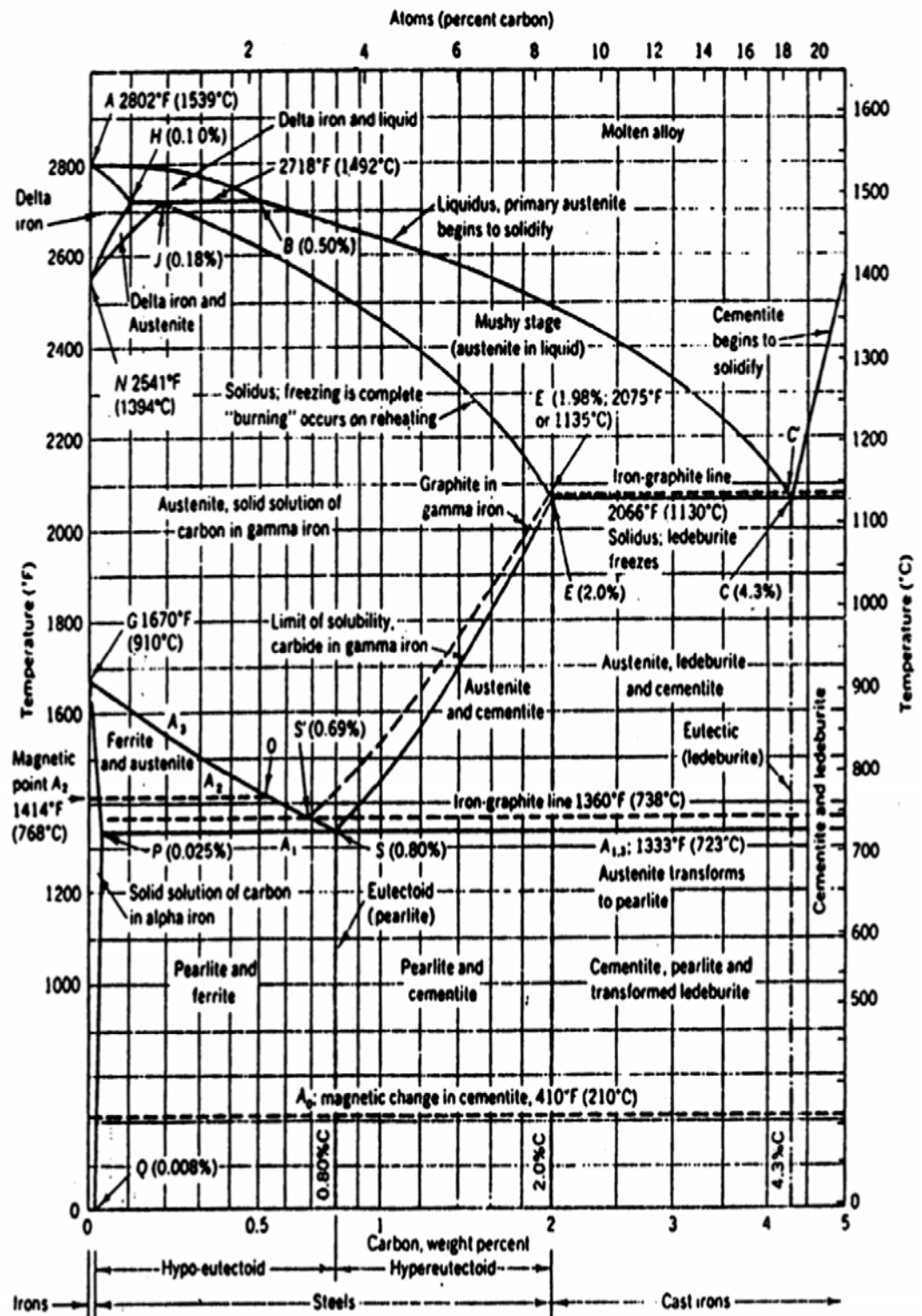
3. Baja Perkakas

Baja karbon tinggi dan dibuat tidak berukuran besar tetapi memegang peranan dalam industri-industri. Baja ini bersifat keras, kuat, liat, tahan panas dan aus. Unsur paduan yang penting adalah W, Cr, V dan kadang-kadang Co yang membentuk unsur karbida yang tahan aus dan menjaga kekerasan pada suhu tinggi.

4. Baja Listrik/baja Silisium

Baja ini mengandung $0,5 - 5\%$ Si yang mempunyai sifat permeabilitas magnet yang tinggi, tahan listrik yang tinggi,

2.2.2. Diagram Fase Fe-C



Gambar 2.1. Diagram fasa Fe-C

Diagram Fe-C (Gambar 2.1) merupakan Diagram Keseimbangan besi karbon sebagai dasar dari bahan yang berupa baja dan besi cor. Selain karbon pada baja terkandung kira-kira 0,2 % Si, 0,3-1,5 % Mn dan lainnya. Karena unsur ini tidak memberikan pengaruh yang cukup berarti kepada diagram fasa Fe-C maka diagram fasa tersebut secara kasar dapat digunakan dengan memakai parameter % C *equivalent*. Pada paduan besi-karbon terdapat fasa ferit, sementit dan grafit. Grafit lebih stabil dari pada sementit. Baja mengandung kurang dari 2 % karbon. Pada bagian diagram antara 700 °C- 900 °C dan daerah karbon 0 %-1 % adalah bagian terpenting karena mikro struktur baja dapat diatur dan disesuaikan dengan keinginan.

Selama pendinginan, terjadi reaksi *eutektoid* Fe-C yang menyangkut pembentukan ferit (α) dan sementit, Fe_3C sebagai hasil dekomposisi eutektoid. Dalam campuran yang dihasilkan terdapat 12 % sementit dan lebih dari 88 % ferit. Karena sementit dan ferit terbentuk sama-sama, keduanya tercampur dengan baik. Bentuk campuran ini seperti *lamel* dan terdiri dari lapisan ferit dan sementit. Struktur mikro yang dihasilkan disebut perlit, sangat penting dalam teknologi baja, dapat diperoleh melalui laku panas yang sesuai. Perlit adalah campuran khusus dari dua fasa dan terbentuk sewaktu austenit dengan komposisi eutektoid bertransformasi menjadi ferit dan sementit. Struktur mikro ini terdiri dari campuran lapisan ferit (matriks yang lebih terang) dan sementit dapat terbentuk oleh reaksi-reaksi yang lain. Namun struktur mikro yang

dihasilkan oleh reaksi-reaksi lain tidak terbentuk *lamel*, oleh karena itu sifat-sifatnya akan berlainan. Karena perlit terjadi dari *austenit* dengan komposisi eutektoid, jumlah perlit yang ada sama dengan austenit dengan komposisi eutektoid, jumlah perlit yang ada sama dengan jumlah *austenit eutektoid* yang ditransformasikan.

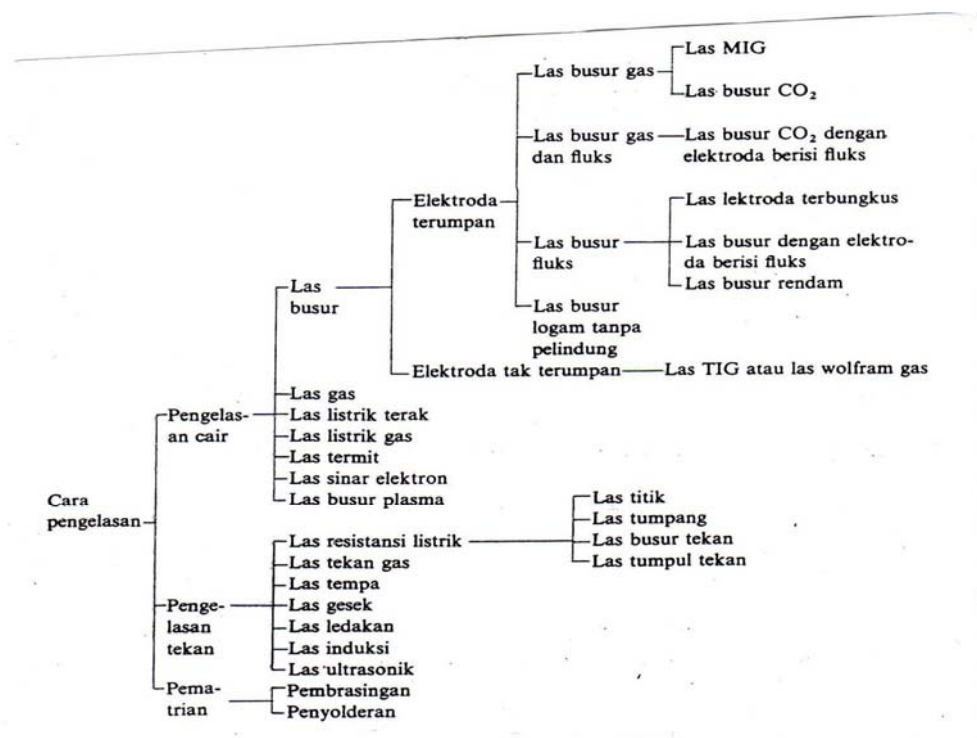
2.2.3. Klasifikasi Cara-cara Pengelasan

Berdasarkan cara kerja pengelasan dapat dibagi dalam 3 kelas utama yaitu :

1. Pengelasan cair adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.
2. Pengelasan tekan adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.
3. Pematrian adalah cara pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. Dalam cara ini logam induk tidak turut mencair.

Perincian lebih lanjut dapat dilihat dalam tabel 2.2

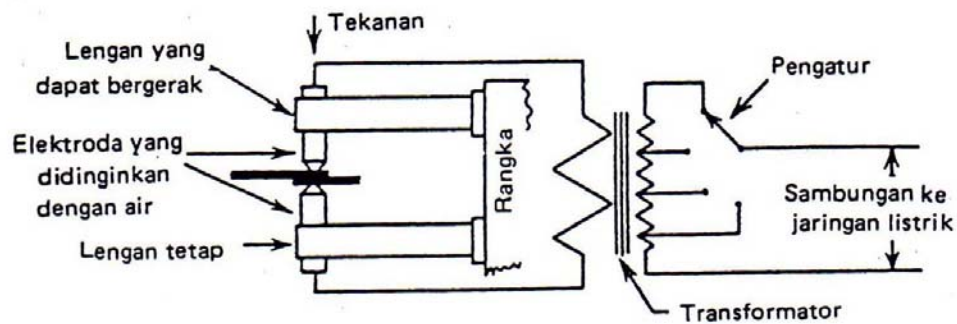
Tabel 2.2. Klasifikasi Cara Pengelasan



(Sumber: Toshie Okumura Teknologi Pengelasan Logam: 109)

2.2.4. Las Titik (*Spot Welding*)

Las titik (*Spot Welding*) merupakan cara pengelasan resistansi listrik dimana 2 atau lebih lembaran logam dijepit diantara elektroda logam seperti terlihat pada gambar 2.2 sebagai berikut :



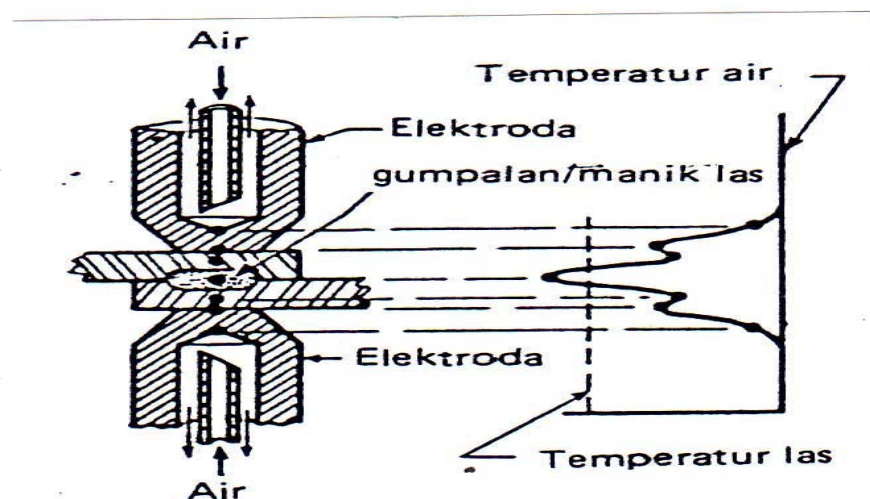
Gambar 2.2. Proses Pengelasan

(Sumber: Amstead, B. H, Teknologi Mekanik: 173)

Siklus las mulai ketika elektroda bersinggung dengan logam di bawah pengaruh tekanan sebelum arus dialirkan. Waktu yang singkat ini disebut waktu tekan. Kemudian dialirkan arus bertegangan rendah diantara elektroda, logam yang saling bersinggungan menjadi panas dan suhu naik sampai mencapai suhu pengelasan segera setelah suhu pengelasan tercapai tekanan antara elektroda memaksa logam menjadi satu terbentuklah sambungan las periode ini disebut waktu las. Kemudian, arus dihentikan meski tekanan masih tetap ada, periode ini disebut waktu tenggang. Kekuatan logam berangsur meningkat kembali setelah logam menjadi dingin. Tekanan diiadakan dan benda kerja dipindahkan.

Las titik (*Spot Welding*) mungkin merupakan pengelasan resistensi listrik yang paling sederhana dan untuk pengelasan lembaran baja biasa, tidak ada masalah. Salah satu syarat untuk memperoleh sambungan yang baik adalah permukaan lembaran baja bersih dan bebas dari karat atau kotoran lainnya. Lapisan permukaan yang kotor akan meningkatkan nilai tekanan permukaan dan menimbulkan panas setempat yang berlebihan.

Pada las titik (*Spot Welding*) dijumpai daerah dimana timbul panas yaitu pada batas permukaan diantara kedua lembaran logam, pada batas permukaan antara lembaran logam, masing-masing elektroda dan dalam lembaran logam masing-masing (gambar 2.3).



Gambar 2.3. Distribusi Suhu Pada Las Titik (*Spot Welding*)

(Sumber: Amstead, B. H, Teknologi Mekanik: 175)

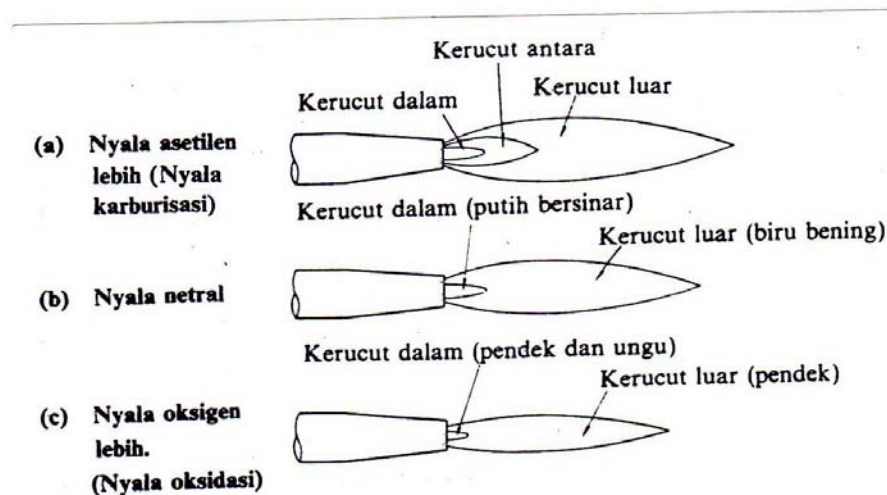
Tahanan kontak pada batas permukaan antara kedua lembaran logam merupakan tahanan yang paling besar, dan disinilah mulai terbentuk sambungan las. Tahanan kontak pada titik ini, antara elektroda dan permukaan lembaran tergantung pada permukaan, besarnya gaya elektroda dan ukuran elektroda. Bila kedua lembaran terbuat dari bahan dan tebal yang sama, berdasarkan keseimbangan energi, manik las akan terjadi tepat ditengah-tengah. Bila bahan atau ketebalan lembaran logam berbeda, maka untuk memperoleh keseimbangan panas diperlukan elektroda yang berbeda.

2.2.5. Las Oksi-Asetilen

Hal-hal yang berhubungan dengan las Oksi-asetilen :

1. Nyala Oksi-asetilen

Nyala hasil pembakaran dalam las Oksi-asetilen dapat berubah tergantung dari perbandingan antara gas oksigen dan gas asetilen seperti ditunjukkan dalam gambar 2.4. Dalam gambar (a) ditunjukkan nyala dengan asetilen yang berlebihan, atau nyala karburasi, pada gambar (b) nyala yang netral dan dalam gambar (c) dengan oksigen yang berlebihan atau nyala oksidasi.



Gambar 2.4. Nyala Oksi-asetilen

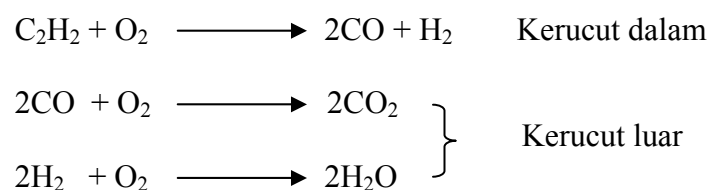
(Sumber: Toshie Okumura Teknologi Pengelasan Logam: 34)

Dibawah ini dijelaskan lebih lanjut tentang nyala Oksi-asetilen :

- a. Nyala netral : nyala ini terjadi bila perbandingan antara oksigen dan asetilen sekitar satu. Nyala terdiri atas kerucut dalam yang berwarna putih bersinar dan kerucut luar yang berwarna biru bening.

- b. Nyala asetilen lebih : bila asetilen yang digunakan melebihi dari pada jumlah untuk mendapatkan nyala netral maka diantara kerucut dalam dan luar akan timbul kerucut nyala baru yang berwarna biru. Di dalam bagian nyala-nyala ini terdapat kelebihan gas asetilen yang menyebabkan terjadinya karburisasi pada logam cair.
- c. Nyala oksigen lebih : bila gas oksigen lebih dari pada jumlah yang diperlukan untuk menghasilkan nyala netral maka nyala menjadi pendek dan warna kerucut dalam berubah dari putih bersinar menjadi ungu. Bila nyala ini digunakan untuk mengelas maka akan terjadi proses oksidasi atau dekarburisasi pada logam cair.

Karena sifatnya yang dapat merubah komposisi logam cair maka nyala asetilen berlebih dan nyala oksigen berlebih tidak dapat digunakan untuk mengelas baja. Dalam nyala Oksi-asetilen netral terjadi reaksi berikut, yaitu :



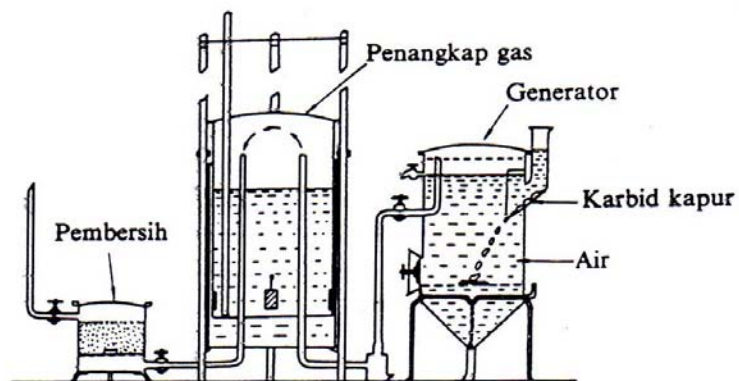
suhu pada ujung kerucut dalam kira-kira 3000°C dan di tengah kerucut luar kira-kira 2500°C. Suhu ini masih lebih rendah dari pada suhu yang terjadi pada busur listrik dan konsentrasi suhu juga kurang baik. Karena hal ini maka las Oksi-asetilen hanya dapat dipakai untuk

mengelas dengan laju yang rendah saja sehingga terjadi perubahan bentuk pada hasil pengelasan.

2. Alat-alat las Oksi-asetilen

Dalam pengelasan Oksi-asetilen diperlukan alat las yang terdiri dari penyembur dan pembakar. Dalam praktek terdapat 2 jenis alat yaitu jenis tekanan rendah yang digunakan untuk tekanan asetilen antara 700 mmHg dan jenis tekanan sedang untuk tekanan asetilen antara 700 – 1300 mmHg. Dengan asetilen tekanan sedang dapat dihasilkan kualitas las yang lebih merata. Disamping itu pada tekanan sedang bahaya terjadinya api balik tidak ada. Sedangkan pada jenis tekanan rendah dengan alat penghasil gas yang dihubungkan langsung bahaya selalu ada. Untuk menghindari bahaya ini pada sistem pipanya dipasang alat pengaman yang terendam air.

Dalam praktek terdapat 3 jenis alat penghasil gas asetilen, yang pertama adalah jenis air ke karbit di mana air diteteskan ke karbit, kedua adalah jenis karbit ke air di mana karbit dijatuhkan ke dalam air, dan ketiga adalah jenis celup di mana karbit ditempatkan dalam suatu keranjang dan dicelupkan ke dalam air. Susunan dari alat jenis karbit ke air ditunjukkan dalam gambar 2.5.



Gambar 2.5. Panghasil Asetilen Jenis Karbit ke Air
(Sumber: Toshie Okumura Teknologi Pengelasan Logam: 35)

Gas asetilen tekanan sedang dihasilkan dengan melarutkan gas asetilen ke dalam aseton yang telah diserap oleh zat berpori yang disimpan dalam botol gas. Cara ini didasarkan atas sifat aseton yang dapat melarutkan gas asetilen dalam jumlah yang besar. Dengan cara ini biasanya gas asetilen dapat ditekan sampai 15 kg/cm^2 dan karena tersimpan dalam botol-botol baja maka penggunaan dan pengangkutannya sangat mudah.

3. Penggunaan dan fluks yang digunakan

Pengelasan Oksi asetilen dapat digunakan untuk mengelas bermacam-macam logam. Pengelasan Oksi-asetilen juga menggunakan fluks untuk memperbaiki sifat-sifat logam las, derajat kecairan logam cair menahan lautan gas. Fluks yang digunakan biasanya adalah campuran antara boraks serbuk gelas dan atau asam borik, boraks dan natrium phospat. Penggunaan dan komposisi dari fluks tergantung pada logam yang akan dilas (tabel 2.3).

Tabel 2.3. Pengelasan Logam dengan Las Oksi-asetilen

Logam induk	Macam nyala api	Fluks	Logam pengisi
Baja karbon	Netral	Tidak perlu	Baja karbon rendah
Besi cor abu-abu	Netral	Perlu	Besi cor abu-abu
Besi cor malleable	Oksidasi lemah	Perlu	Perunggu
Nikel	Karburisasi	Tidak perlu	Nikel
Paduan Ni-Cu	Netral atau karburisasi lemah	Tidak perlu	Monel
Tembaga	Netral	Tidak perlu	Tembaga
Perunggu	Netral atau oksidasi lemah	Perlu	Perunggu
Kuningan	Oksidasi	Perlu	Kuningan

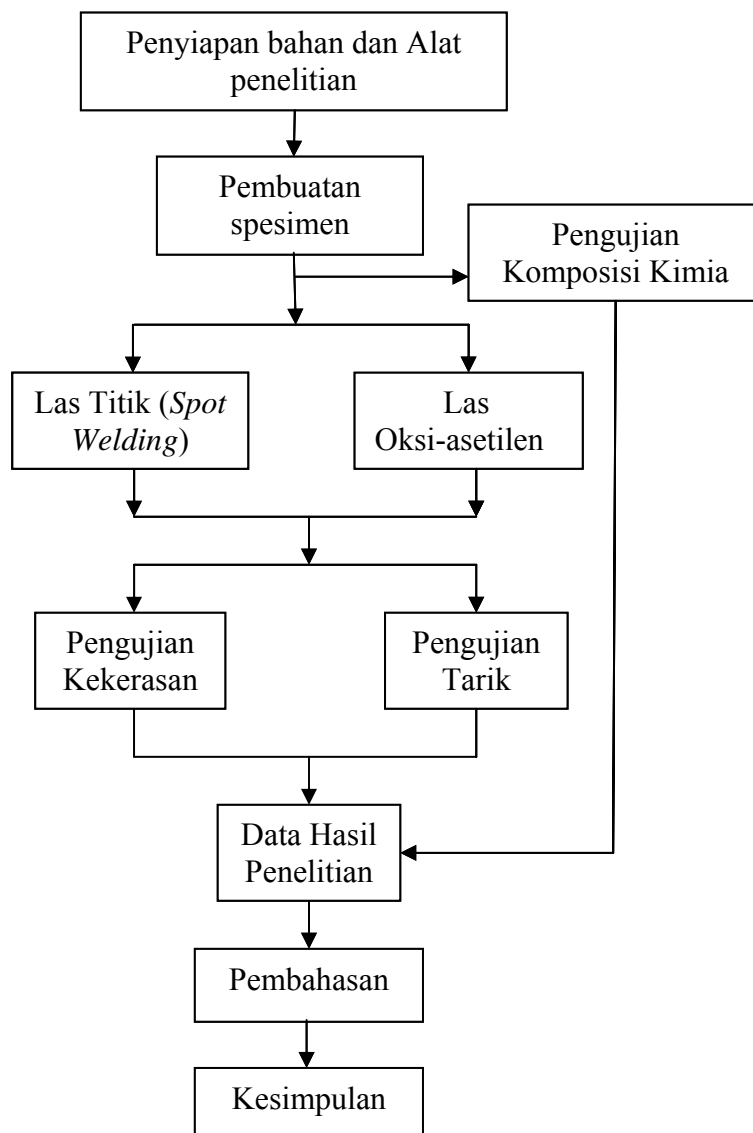
(Sumber: Toshie Okumura Teknologi Pengelasan Logam: 36)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Untuk dapat mempermudah jalannya penelitian, maka dibuat rangkaian diagram alur penelitian sebagai berikut :



Gambar 3.1. Diagram Alur Penelitian

3.2. Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja St 70 yang berupa plat tipis dengan ketebalan 0,9 mm, 1,5 mm, 2 mm. Bahan tersebut dilakukan proses pengelasan dengan menggunakan las titik (*Spot Welding*) dengan variasi jumlah titik yaitu 1 titik, 2 titik dan 3 titik dan bahan tersebut juga dilas menggunakan las Oksi-asetilen sebagai pembandingnya.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi 2 bagian, yaitu alat uji utama dan alat uji pembantu.

A. Alat uji utama yaitu :

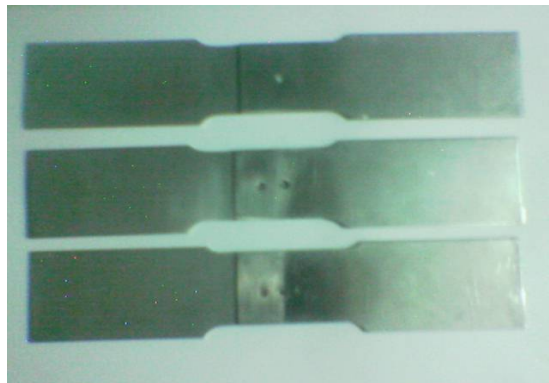
1. Alat uji komposisi kimia
2. Alat uji kekerasan
3. Alat uji tarik

B. Alat uji pembantu yaitu :

1. Gergaji
2. Gerinda
3. Jangka sorong
4. Mistar
5. Ragum/tanggem
6. Kikir
7. Amplas
8. Autosol
9. Kain halus

3.2.1. Proses Pemotongan

Pemotongan dilakukan terlebih dahulu untuk mendapatkan benda uji yang diinginkan. Pemotongan dilakukan dengan gergaji mesin dan dilakukan dengan hati-hati untuk menghindari dari pengaruh pengerjaan mesin pemotong sekecil mungkin. Langkah selanjutnya adalah pembuatan sambungan pada bagian yang akan dilas, bentuk sambungan yang digunakan adalah sambungan tumpang, seperti gambar berikut :



Gambar 3.2. Sambungan Tumpang

3.2.2. Proses Pengelasan

Setelah proses pemotongan dan pembuatan sambungan, proses selanjutnya adalah proses pengelasan. Las yang digunakan adalah las titik (*Spot Welding*) dan las Oksi-asetilen. Proses pengelasan dari masing-masing las digunakan seragam, baik pada penggunaan arus (I), tegangan (*Volt*) dan kecepatan pengelasan (V). Untuk proses pendinginan setelah proses pengelasan dilakukan dengan udara bebas.



Gambar 3.3. Alat Untuk Las Titik

(Sumber: Laboratorium Teknik Mesin UMS)

DAYOK

Model OK 25

Capacite 25 Kva

Max Capacite 28 Kva

Pated PPI volt 380 V

Frequency 50/60 C/S

Short current 9000 A

Usage rating 2.0×2.0 m/m

Max press 400 kg

Duty cycle 40 %

Weight 150 kg

Made no. 121501

DATE 2005

3.2.3. Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji untuk pengujian unsur komposisi kimia dibuat sebelum dilakukan proses pengelasan. Untuk uji komposisinya dibuat 1 buah benda uji dengan ukuran panjang 14 mm, lebar 14 mm dan tebal 2 mm.

Untuk pembuatan benda uji pada pengujian kekerasan dan pengujian tarik dilakukan setelah proses pengelasan selesai. Pada proses pengujian kekerasan bentuk dan ukuran benda uji sama dengan benda uji pada pengujian tarik, karena pada pengujian kekerasan pada las titik (*Spot Welding*) yang diteliti adalah kekerasan logam induk dan daerah haz. Sedang untuk pengujian kekerasan pada las Oksi-asetilen yang diteliti adalah logam induk, daerah haz dan elektroda. Untuk pengujian tarik pembuatan benda uji menggunakan standart ASTM E 8 M dengan ukuran benda uji dibuat besar.

Jumlah benda uji yang disiapkan pada pengujian kekerasan pada las titik (*Spot Welding*) sebanyak 9 buah. Dengan perincian untuk tebal plat 0,9 mm sebanyak 3 buah dengan variasi titik yaitu 1 titik, 2 titik dan 3 titik. Untuk tebal plat 1,5 mm sebanyak 3 buah dengan variasi titik yaitu 1 titik, 2 titik dan 3 titik. Dan untuk tebal plat 2 mm sebanyak 3 buah dengan variasi titik yaitu 1 titik, 2 titik dan 3 titik. Untuk pengujian kekerasan pada las Oksi-asetilen sebanyak 3 buah yaitu pada ketebalan plat 0,9 mm, 1,5 mm dan 2 mm.

Jumlah benda uji yang disiapkan pada pengujian tarik pada las titik (*Spot Welding*) sebanyak 9 buah. Dengan perincian untuk tebal plat 0,9 mm sebanyak 3 buah dengan variasi titik yaitu 1 titik, 2 titik dan 3 titik. Untuk tebal plat 1,5 mm sebanyak 3 buah dengan variasi titik yaitu 1 titik, 2 titik dan 3 titik. Dan untuk tebal plat 2 mm sebanyak 3 buah dengan variasi titik yaitu 1 titik, 2 titik dan 3 titik. Untuk pengujian tarik pada las Oksi-asetilen sebanyak 3 buah yaitu pada ketebalan plat 0,9 mm, 1,5 mm dan 2 mm.

Jumlah total benda uji pada penelitian sebanyak 25 buah yaitu 1 buah untuk uji komposisi kimia, 12 buah untuk uji kekerasan, 12 buah untuk uji tarik.

3.3. Penghalusan dan Pemolesan

Penghalusan dan pemolesan dilakukan pada benda uji yang akan diuji kekerasan. Penghalusan dilakukan dengan menggunakan kikir atau digerinda. Pengikiran atau penggerindaan dilakukan sampai permukaan bidang benda uji rata. Penghalusan ini dilakukan secara hati-hati dan perlahan, agar tidak merubah struktur intern akibat gesekan dan panas. Langkah selanjutnya adalah pengamplasan. Pengamplasan dilakukan dengan amplas kasar terlebih dahulu dilanjutkan dengan amplas halus, sehingga benda uji halus dan rata.

Setelah benda uji cukup halus maka langkah selanjutnya adalah memoles benda uji menggunakan autosol untuk mendapatkan permukaan yang halus dan mengkilap agar memudahkan dalam pengujian kekerasan.

3.4. Pengujian Unsur Komposisi Kimia (*Test Spectro*)

Pengujian ini dilakukan untuk memeriksa dan mengetahui jumlah (*prosentase*) kandungan unsur paduan yang terdapat pada benda uji, terutama kadar unsur karbon (C). Karena dengan kadar unsur karbon (C) yang rendah maka benda uji akan baik dan mudah dilakukan proses pengelasan. Pengujian ini dilakukan dengan penembakan gas argon dari alat uji *spectro* di Laboratorium Bahan PT. ITOKOH CEPERINDO di Klaten. Pengujian unsur komposisi kimia ini menggunakan alat uji *Fsq Foundary Spectrovac*.

Setelah benda uji disiapkan, benda uji diletakkan pada mesin uji *Fsa Foundary Spectrovac*, dengan memperhatikan benda uji tersebut tepat dan tidak bergeser, kemudian dilakukan penembakan agar terjadi radiasi oleh gas argon.



Gambar 3.4. Alat Uji *Fsq Foundary Spectrovac*.

3.5. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan pada penelitian ini menggunakan uji kekerasan mikro. Hasil kekerasan pada pengujian ini secara otomatis dapat langsung terbaca.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Vickers Hardnes Tester*. Dalam pengujian ini menggunakan standar ASTM E 92. Angka kekerasan *Vickers* didefinisikan sebagai beban uji dibagi luas permukaan lekukan yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} HV &= \frac{F / d^2}{2 \sin d / 2\alpha} \\ &= 1,8544 \frac{F}{d^2} \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Dimana :

H_v = nilai keras mikro *Vickers* (N/mm²)

F = beban tekan (N)

d = diagonal rata-rata (mm)

α = sudut antara permukaan intan yang berlawanan (136 °)

Bentuk penumbuk knoop yang khusus, memberikan kemungkinan membuat lekukan yang lebih rapat dibandingkan lekukan *vickers*. Keuntungan lain adalah bahwa untuk diagonal yang panjang, luas dan kedalaman kekuatan knoop kira-kira hanya 15 % dari luas lekukan *vickers* untuk panjang diagonal yang sama. Hal ini sangat berguna khususnya apabila mengukur kekerasan lapisan tipis.

Benda kecil yang digunakan pada uji mikro memerlukan penanganan yang sangat hati-hati pada setiap tahap pengujian. Permukaan benda uji

biasanya dibutuhkan proses poles metalografi. Diagonal panjang jejak knoop pada dasarnya tidak dipengaruhi oleh pengembalian bentuk elastis untuk beban-beban 300 g. Untuk beban yang lebih ringan, maka pengembalian secara elastis yang kecil menjadi lebih besar. Kedua faktor di atas mempunyai pengaruh untuk pembacaan kekerasan yang tinggi, sehingga angka kekerasan knoop yang teramati membesar sejalan dengan penurunan beban, untuk beban di bawah 300 g. Pengujian kekerasan pada penelitian ini yang diteliti adalah kekerasan logam induk, daerah haz dan elektroda (pada las Oksi-asetilen).



Gambar 3.5. Alat Uji Kekerasan Mikro

3.6. Pengujian Kekuatan Tarik

Pengujian tarik pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan geser pada las titik (*Spot Welding*) dengan variasi jumlah titik dan ketebalan bahan yang dibandingkan dengan kekuatan geser pada las Oksi-asetilen. Pengujian tarik dilakukan sampai sambungan las pada benda uji putus. Dalam sambungan las sifat tarik sangat dipengaruhi oleh sifat dari logam induk, sifat daerah haz, sifat logam las dan sifat-sifat dinamik dari sambungan berhubungan erat dengan geometri dan distribusi tegangan dalam sambungan.

Dalam pengujian batang uji dibebani dengan kenaikan beban sedikit demi sedikit sampai batang uji patah. Kemudian sifat-sifat tarikannya dapat dihitung dengan persamaan-persamaan di bawah ini :

Tegangan geser maksimum :

$$\sigma_t = \frac{F_m}{A_o} \quad (\text{N/mm}^2)$$

Di mana :

F_m = Beban maksimum (N)

A_o = Luas penampang mula-mula (mm^2)

Regangan :

$$\varepsilon = \frac{L - L_o}{L_o} \times 100\%$$

Di mana :

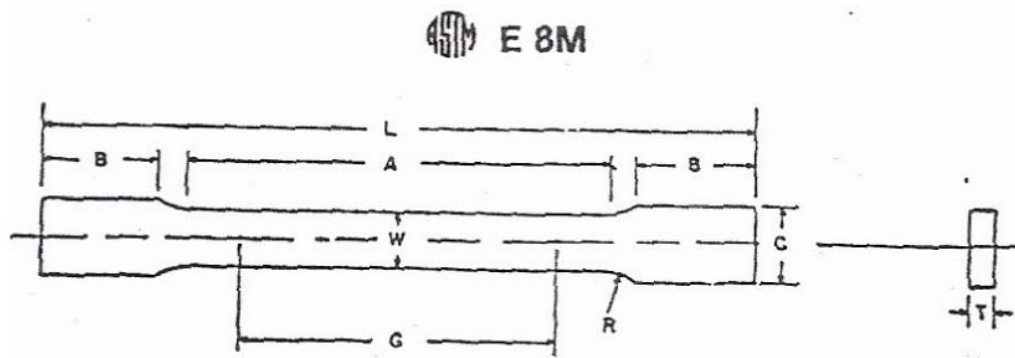
L_o = Panjang mula-mula dari batang uji

L = Panjang batang setelah dilakukan uji tarik.

Pengujian tarik pada penelitian ini menggunakan mesin uji tarik universal seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 3.6. Alat Uji Tarik



Gambar 3.6 Standar pembuatan spesimen uji kekuatan tarik

Dimana:

- G— Gage length (Notes 1 and 2)
- W— Width (Notes 3 and 4)
- T— Thickness (Note 5)
- R— Radius of fillet, min (Note 6)
- L— Overall length, min (Notes 2 and 7)
- A— Length of reduced section, min
- B— Length of grip section, min (Note 8)
- C— Width of grip section, approximate (Notes 4 and 9)

BAB IV
DATA-DATA HASIL PENELITIAN
DAN PEMBAHASAN

4.1. Data-data Hasil Penelitian

4.1.1. Data Hasil Penelitian Komposisi Unsur Kimia

Data hasil pengujian yang dilakukan di Laboratorium PT. ITOKOH
CEPERINDO adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1. Komposisi Unsur Kimia Baja St 70

No	Nama Unsur	Kadar Unsur (%)
1	Fe	71,58
2	C	0,066
3	si	0,699
4	Mn	1,243
5	p	0,036
6	si	0,018
7	Ni	7,480
8	Cr	17,974
9	Mo	0,340
10	Cu	0,248
11	Al	0,007
12	Nb	0,07
13	V	0,11
14	W	0,09
15	Ti	0,03

4.1.2. Data Hasil Pengujian Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan yang dilakukan dengan *Vickers Micro Hardness Tester* adalah sebagai berikut :

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Kekerasan Spesimen Las Titik Baja St 70

Spesimen	Posisi Titik Uji	D rata-rata (μm)	Kekerasan (HV)	Kekerasan Rata-rata (HV)
Tebal plat 0,9 mm 1 titik	Logam induk	45,76	265,7	267,9
		44,65	279,1	
		46,35	259,0	
Tebal plat 0,9 mm 1 titik	HAZ	45,92	263,9	260,7
		49,93	223,2	
		43,41	295,1	
Tebal plat 0,9 mm 2 titik	HAZ	43,6	292,6	278
		46,05	255,7	
		44,13	285,7	
Tebal plat 0,9 mm 3 titik	HAZ	47,68	244,7	253,4
		44,71	278,3	
		48,43	237,2	

Spesimen	Posisi Titik Uji	D rata-rata (μm)	Kekerasan (HV)	Kekerasan Rata-rata (HV)
Tebal plat 1,5 mm 1 titik	Logam induk	50,08	221,9	238,3
		48,82	233,5	
		46,29	259,6	
Tebal plat 1,5 mm 1 titik	HAZ	48,56	235,9	243,2
		47,92	242,3	
		47,03	251,5	
Tebal plat 1,5 mm 2 titik	HAZ	43,95	288,1	263,7
		49,23	229,5	
		45,11	273,4	
Tebal plat 1,5 mm 3 titik	HAZ	48,15	239,9	244,1
		47,94	242,1	
		47,19	249,9	

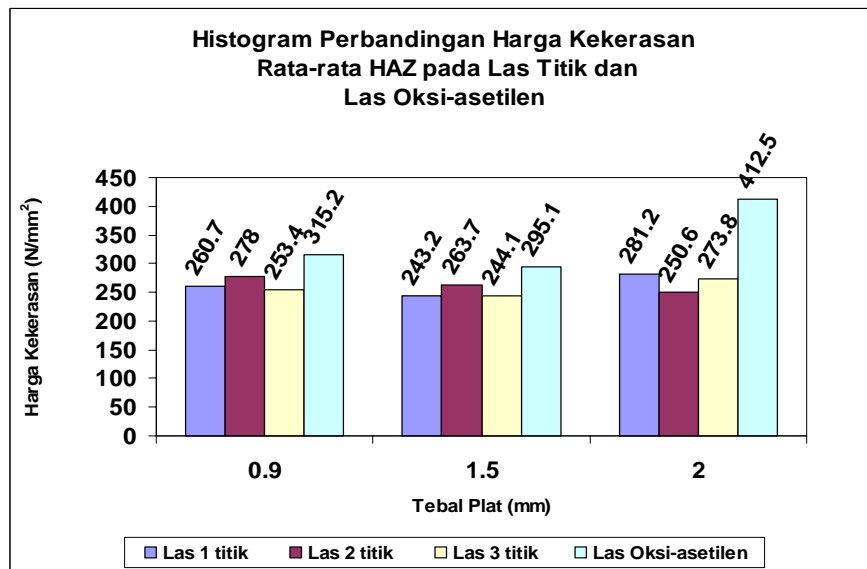
Spesimen	Posisi Titik Uji	D rata-rata (μm)	Kekerasan (HV)	Kekerasan Rata-rata (HV)
Tebal plat 2 mm 1 titik	Logam induk	47,99	212,9	236,6
		47,14	230,3	
		49,70	266,5	
Tebal plat 2 mm 1 titik	HAZ	42,67	305,6	281,2
		44,01	287,3	
		47,11	250,6	
Tebal plat 2 mm 2 titik	HAZ	47,22	249,5	250,6
		47,07	251,2	
		47,08	251,1	
Tebal plat 2 mm 3 titik	HAZ	46,23	260,3	273,8
		47,28	248,9	
		42,22	312,1	

Tabel 4.3. Hasil Pengujian Kekerasan Spesimen Las Oksi-Asetilen Baja St 70

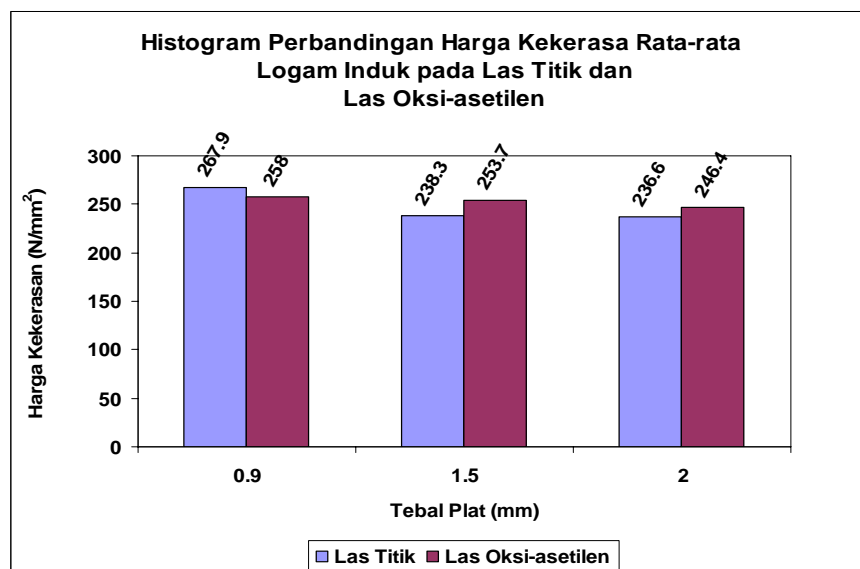
Spesimen	Posisi Titik Uji	D rata-rata (μm)	Kekerasan (HV)	Kekerasan Rata-rata (HV)
Tebal plat 0,9 mm	Logam induk	46,11	261,7	258
		46,53	257,0	
		46,68	255,3	
	HAZ	41,81	318,2	315,2
		42,55	307,3	
		41,69	320,1	
	Elektroda	34,09	478,8	469,3
		34,39	470,5	
		34,83	458,6	

Spesimen	Posisi Titik Uji	D rata-rata (μm)	Kekerasan (HV)	Kekerasan Rata-rata (HV)
Tebal plat 1,5 mm	Logam induk	47,59	245,6	253,7
		48,64	235,2	
		44,55	280,3	
	HAZ	45,48	269,1	295,1
		40,81	334,1	
		44,45	281,7	
	Elektroda	29,64	633,2	666,2
		28,09	705,4	
		29,03	660,1	

Spesimen	Posisi Titik Uji	D rata-rata (μm)	Kekerasan (HV)	Kekerasan Rata-rata (HV)
Tebal plat 2 mm	Logam induk	48,53	236,2	246,4
		47,97	241,7	
		46,15	261,3	
	HAZ	37,82	388,8	412,5
		36,72	412,8	
		35,73	435,9	
	Elektroda	42,24	311,7	309,4
		41,95	316,3	
		43,03	300,3	



Gambar 4.1. Histogram perbandingan Harga Kekerasan Rata-rata HAZ pada Las Titik dan Las Oksi-asetilen.



Gambar 4.2. Histogram perbandingan Harga Kekerasan Rata-rata Logam Induk pada Las Titik dan Las Oksi-asetilen.

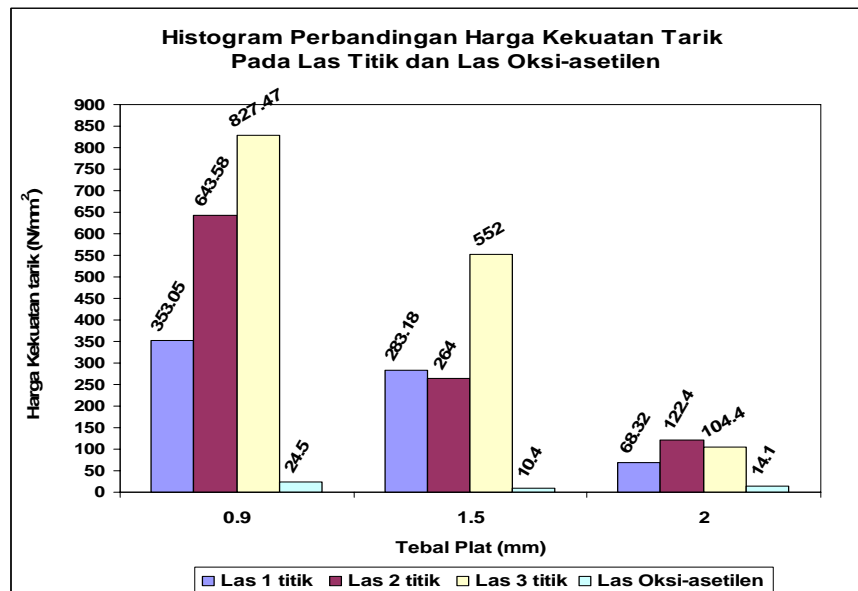
4.1.3. Data Hasil Pengujian Tarik

Tabel 4.4. Hasil Pengujian Tarik Spesimen Las Titik Baja St 70

Jumlah titik	No	Tebal (mm)	Beban max (N)	Luas yang dilas titik (mm ²)	Tegangan Tarik (N/mm ²)	Regangan (%)
1	1	0,9	14122	7,065	353,05	15
2	2	0,9	25743,2	14,13	643,58	8,75
3	3	0,9	33098,8	21,195	827,47	7,5
1	1	1,5	11327,2	7,065	283,18	10
2	2	1,5	10560	14,13	264	13,5
3	3	1,5	86080	21,195	552	10,5
1	1	2	2732,8	7,065	68,32	18
2	2	2	4896	14,13	122,4	23,7
3	3	2	6336	21,195	158,4	34,2

Tabel 4.5. Hasil Pengujian Tarik Spesimen Las Oksi-Asetilen Baja St 70

No	Tebal (mm)	Beban Max (N)	Luas (mm ²)	Tegangan Tarik (N/mm ²)	Regangan (%)
1	0,9	4320	40	108	24,5
2	1,5	956	40	23,9	10,4
3	2	2361,6	40	59,04	14,1



Gambar 4.3. Histogram Perbandingan Harga Kekuatan Tarik pada Las Titik dan Oksi-asetilen.

4.2. Pembahasan

Pembahasan yang diperoleh berdasarkan dari hasil selama melakukan penelitian adalah sebagai berikut :

4.2.1. Pembahasan Uji Komposisi Kimia

Dari hasil pengujian komposisi kimia dapat diketahui material yang diteliti adalah baja tahan karat jenis Austenit, dengan komposisi utama 71,58% Besi, 17,974 % *Chrom* dan 7,480 % Nikel. Baja tahan karat jenis Austenit mempunyai sifat mampu las yang lebih baik bila dibanding dengan baja tahan karat jenis Ferit dan Martensit. *Chrom* (Cr) berfungsi meningkatkan kekerasan, kekakuan, ketahanan aus, kemampuan diperkeras dan tahan panas. Nikel (Ni) berfungsi meningkatkan keuletan

dan kekuatan mampu las dan tahan karat. Untuk kandungan unsur besi (Fe) sebesar 71,58 % dan karbon (C) 0,066 % termasuk baja karbon rendah karena $C < 0,3 \%$. Baja yang mempunyai kadar karbon rendah dapat dilakukan proses pengelasan dengan baik. Silikon (Si) sebesar 0,699 % berfungsi meningkatkan kekerasan, kekuatan tahan aus, tahan panas dan tahan korosi. Mangan (Mn) sebesar 1,243 % berfungsi meningkatkan kekuatan, kekerasan dan tahan aus. Posphor (P) sebesar 0,036 % menjadikan baja getas. Sulfur (S) sebesar 0,018 % berfungsi memberikan sifat mekanis terutama menurunkan keliatan. Molibdenum (Mo) sebesar 0,340 % berfungsi meningkatkan kekuatan tarik dan tahan panas. Tembaga (Cu) sebesar 0,248 % tahan panas dan tahan korosi. Alumunium (Al) sebesar 0,007 % berfungsi meningkatkan keuletan dan tahan karat. Neobium (Nb) sebesar 0,007 %. Vanadium (V) sebesar 0,11 % berfungsi meningkatkan kekuatan tarik, keuletan dan ketahanan lelah. Wolfram (W) sebesar 0,09 % berfungsi meningkatkan kekerasan, kekuatan pada suhu tinggi. Titanium (Ti) sebesar 0,03 % merupakan unsur logam keras.

4.2.2. Pembahasan Uji Kekerasan

Kekerasan daerah HAZ las titik baja St 70 pada ketebalan 0,9 mm harga kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen yang dilas dengan 2 titik las yaitu sebesar 278 N/mm^2 , harga kekerasan daerah HAZ menurun pada spesimen dengan 1 titik las sebesar $260,7 \text{ N/mm}^2$ dan pada spesimen dengan 3 titik las sebesar $253,4 \text{ N/mm}^2$. Harga kekerasan daerah HAZ

tertinggi pada ketebalan 1,5 mm terdapat pada spesimen dengan 2 titik las sebesar $170,2 \text{ N/mm}^2$, kekerasan daerah HAZ menurun pada spesimen dengan 3 titik las sebesar $167,9 \text{ N/mm}^2$ dan pada spesimen pada 1 titik las sebesar $158,1 \text{ N/mm}^2$. Sedangkan pada ketebalan 2 mm harga kekerasan daerah HAZ las titik tertinggi terdapat pada spesimen dengan 1 titik las sebesar $281,2 \text{ N/mm}^2$, menurun kekerasannya pada spesimen dengan 3 titik las sebesar $273,8 \text{ N/mm}^2$ dan pada spesimen dengan 2 titik las sebesar $250,6 \text{ N/mm}^2$. Besar kecilnya harga kekerasan daerah HAZ las titik tidak dipengaruhi oleh banyaknya jumlah las titik, tetapi dipengaruhi oleh jarak titik uji daerah HAZ yang paling dekat dengan logam las. Semakin dekat jarak titik uji daerah HAZ dengan logam las titik semakin besar harga kekerasannya.

Kekerasan daerah HAZ las Oksi-asetilen tertinggi terdapat pada ketebalan 2 mm sebesar $412,5 \text{ N/mm}^2$, kekerasan daerah HAZ menurun pada ketebalan 0,9 mm sebesar $315,2 \text{ N/mm}^2$ dan pada ketebalan 1,5 mm sebesar $295,1 \text{ N/mm}^2$.

Kekerasan tertinggi logam induk pada las titik terdapat pada ketebalan 0,9 mm sebesar $267,9 \text{ N/mm}^2$, kekerasan logam induk menurun pada ketebalan 1,5 mm sebesar $238,3 \text{ N/mm}^2$ dan pada ketebalan 2 mm sebesar $236,6 \text{ N/mm}^2$. hal ini disebabkan karena pengaruh ketebalan. Semakin tipis spesimen las titik pada baja St 70 semakin tinggi harga kekerasan logam induknya.

Kekerasan tertinggi logam induk pada las Oksi-asetilen terdapat pada ketebalan 0,9 mm sebesar 258 N/mm^2 . Dan menurun harga kekerasan logam induknya pada ketebalan 1,5 mm sebesar $253,7 \text{ N/mm}^2$ dan pada ketebalan 2 mm sebesar $246,4 \text{ N/mm}^2$.

4.2.3. Pembahasan Uji Tarik

Untuk spesimen las titik pada ketebalan 0,9 mm harga kekuatan tariknya lebih tinggi dan harga kekuatan tariknya menurun pada ketebalan 1,5 mm dan 2 mm. Harga kekuatan tarik tertinggi pada spesimen dengan tebal 0,9 mm sebesar $827,47 \text{ N/mm}^2$ yaitu pada spesimen yang dilas dengan 3 titik las. Untuk harga kekuatan tarik tertinggi pada spesimen dengan tebal 1,5 mm sebesar 552 N/mm^2 yaitu pada spesimen yang dilas dengan 3 titik las. Dan harga kekuatan tarik tertinggi pada spesimen dengan tebal 2 mm sebesar $122,4 \text{ N/mm}^2$ yaitu pada spesimen yang dilas dengan 2 titik las. Hal ini disebabkan karena pengaruh ketebalan dan kekerasan logam induk. Semakin tipis spesimen yang dilas titik harga kekuatan tariknya semakin besar. Dan semakin keras logam induk sambungan las titik yang terjadi semakin kuat.

Untuk spesimen las oksi-asetilen pada ketebalan 0,9mm harga kekuatan tariknya lebih tinggi yaitu sebesar 108 N/mm^2 . kemudian menurun pada ketebalan 1,5 mm sebesar $23,9 \text{ N/mm}^2$, dan naik pada ketebalan 2 mm sebesar $59,04 \text{ N/mm}^2$.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Setelah melakukan analisa dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil pengujian komposisi kimia dapat diketahui bahwa baja St 70 adalah baja tahan karat jenis austenit, dengan komposisi utama yaitu 71,58% Besi, 17,974 % Chrom (Cr) dan 7,480 % Nikel (Ni).
2. Dari hasil pengujian kekerasan didapatkan harga kekerasan tertinggi daerah HAZ las titik pada spesimen dengan tebal 2 mm dengan 1 titik las sebesar 281,2 N/mm². Untuk kekerasan daerah logam induk las titik tertinggi terdapat pada spesimen dengan tebal 0,9 mm sebesar 267,9 N/mm². pada las Oksi-asetilen harga kekerasan daerah HAZ tertinggi terdapat pada ketebalan 2 mm sebesar 412,5 N/mm². untuk kekerasan logam induk tertinggi terdapat pada ketebalan 0,9 mm sebesar 258 N/mm².
3. Dari hasil pengujian tarik untuk las titik, kekuatan tarik tertinggi terdapat pada spesimen dengan ketebalan 0,9 mm dengan 3 titik las sebesar 827,47 N/mm². Untuk las Oksi-asetilen kekuatan tarik tertinggi terdapat pada ketebalan 0,9 mm sebesar 108 N/mm².

5.2. Saran

50

1. Untuk penelitian las titik selanjutnya sebaiknya dengan ketebalan yang sama tetapi dengan variasi formasi las titik sehingga diketahui kekuatan tarik dari formasi las titik tersebut.
2. Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya ditambah pengujian impact untuk mengetahui kekuatan las titik terhadap benturan.

DAFTAR PUSTAKA

- Amsted, B.H.: Sriati Djapri (Alih Bahasa), 1995, *Teknologi Mekanik*, Edisi ke-7 Jilid 1, PT. Erlangga, Jakarta.
- Dieter, Georger, 1993, *Metalurgi Mekanik*, Jilid I, Edisi ke-3, PT. Erlangga. Jakarta.
- Hidayat, S. N, 2006, Tugas Akhir: Pengaruh Jenis Eletroda Las Terhadap Kekuatan Sambungan pada Baja Stainless Steel, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Kenyon, W., Dines Ginting (Alih Bahasa), 1985. *Dasar-dasar Pengawasan*, PT. Erlangga, Jakarta.
- Sriwidharto, 1987, Petunjuk Kerja Las, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Susanto, T. A, 2006, Tugas Akhir: Pengaruh Penggunaan Jenis Fluks Pebungkus Terhadap Kekuatan Tarik pada Plat Baja St 37 dengan Kampuh X, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Wiryosumarto, H: Okumura, T., 1995. *Teknologi Pengelasan Logam*, PT. Pradnya. Paramita. Jakarta.
- _____ 1998. *American Society for Testing Material*, Section 3, Volume 3.